



Politecnico di Torino

## Porto Institutional Repository

[Proceeding] Sistemi geotermici a bassa entalpia a ciclo aperto: modellazione dell'impatto termico nel sottosuolo

*Original Citation:*

Stefano Lo Russo (2013). *Sistemi geotermici a bassa entalpia a ciclo aperto: modellazione dell'impatto termico nel sottosuolo*. In: Italian DHI Conference 2013, Torino, 9-10 October 2013.

*Availability:*

This version is available at : <http://porto.polito.it/2566747/> since: October 2014

*Publisher:*

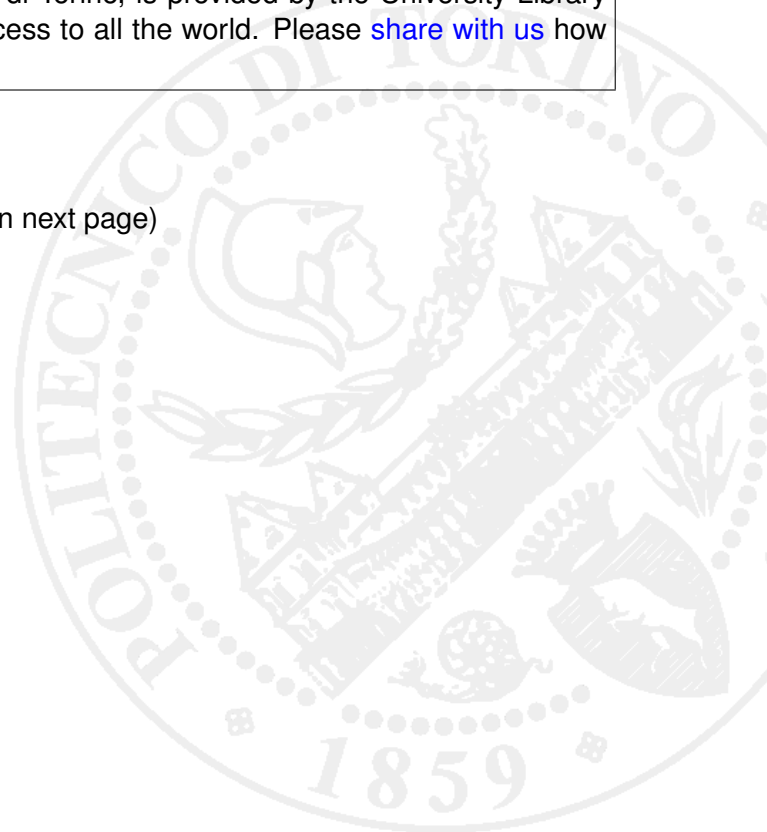
DHI-WASY

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions applicable to Open Access Policy Article ("Public - All rights reserved") , as described at [http://porto.polito.it/terms\\_and\\_conditions.html](http://porto.polito.it/terms_and_conditions.html)

Porto, the institutional repository of the Politecnico di Torino, is provided by the University Library and the IT-Services. The aim is to enable open access to all the world. Please [share with us](#) how this access benefits you. Your story matters.

(Article begins on next page)



# Sistemi geotermici a bassa entalpia a ciclo aperto: modellazione dell'impatto termico nel sottosuolo



**Stefano LO RUSSO**

DIATI – Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente,  
del Territorio e delle Infrastrutture  
POLITECNICO DI TORINO

E-mail: stefano.lorusso@polito.it

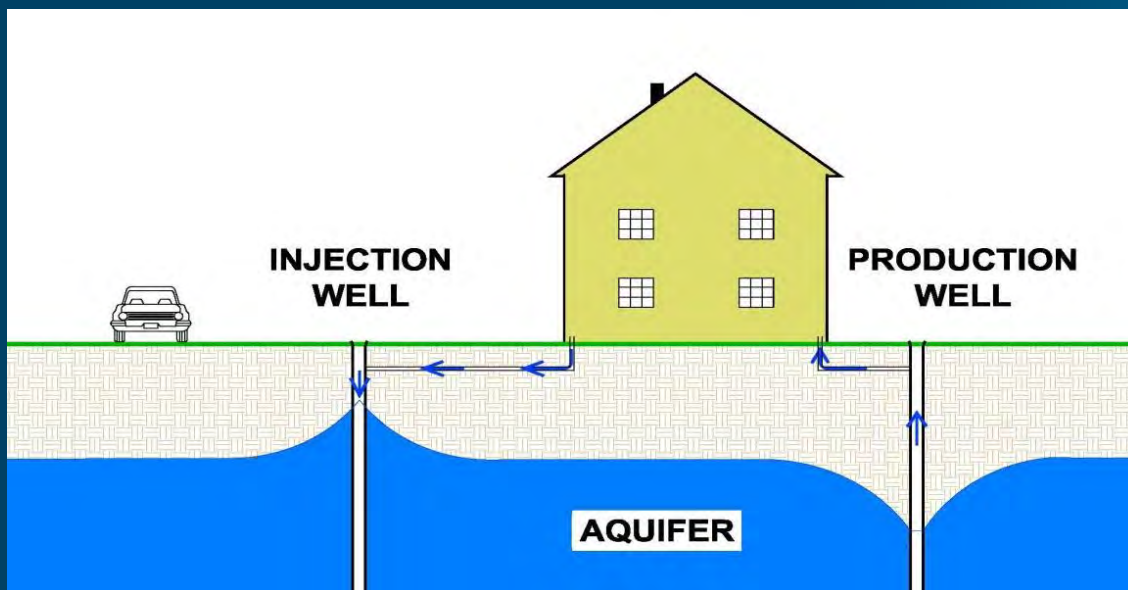
Torino, 9-10 Ottobre 2013



Italian DHI Conference 2013

## Come funziona un sistema geotermico di tipo *open-loop*

Il sistema geotermico a pompa di calore di tipo *open-loop* utilizza un **pozzo di produzione** da cui viene estratta l'acqua sotterranea che viene fatta circolare attraverso uno scambiatore di calore (pompa di calore) e re-immessa in acquifero attraverso un **pozzo di re-iniezione** posto a valle dell'impianto o scaricata in un corpo idrico superficiale.



## Effetti della re-iniezione dell'acqua nell'acquifero

A seconda della modalità di utilizzo dell'impianto (**riscaldamento o raffrescamento**) l'energia termica in forma di calore immagazzinata nell'acqua prelevata dal sottosuolo può essere estratta (**funzionamento invernale**) o ceduta (**funzionamento estivo**).

Pertanto a valle della pompa di calore la temperatura dell'acqua è differente da quella prelevata (+fredda in inverno e +calda in estate). La re-immissione in acquifero produce una perturbazione termica rispetto alle condizioni termiche (ed idrauliche) indisturbate con la formazione della cd. *plume termica*

La *plume termica* può comportare un rischio “esterno” per interferenze con altri impianti posti a valle e un rischio “interno” per fenomeni di **feedback termico**.

La valutazione degli effetti ambientali necessita quindi **un'accurata caratterizzazione geologica e idrogeologica del sito** e di tools di modellazione numerica che siano in grado di accoppiare modelli di flusso idrodinamico transitorio con modelli di trasporto di calore.

# Condizioni indispensabili per la modellazione numerica

## Conoscenza dettagliata delle condizioni geologiche e idrogeologiche del sito

- ✓ Geometria 3D dei corpi geologici
- ✓ Determinazione condizioni idrodinamiche: piezometria
- ✓ Caratterizzazione idrodinamica dei corpi acquiferi
- ✓ Censimento degli usi delle acque sotterranee nell'intorno e loro dinamica temporale

## Costruzione del modello concettuale

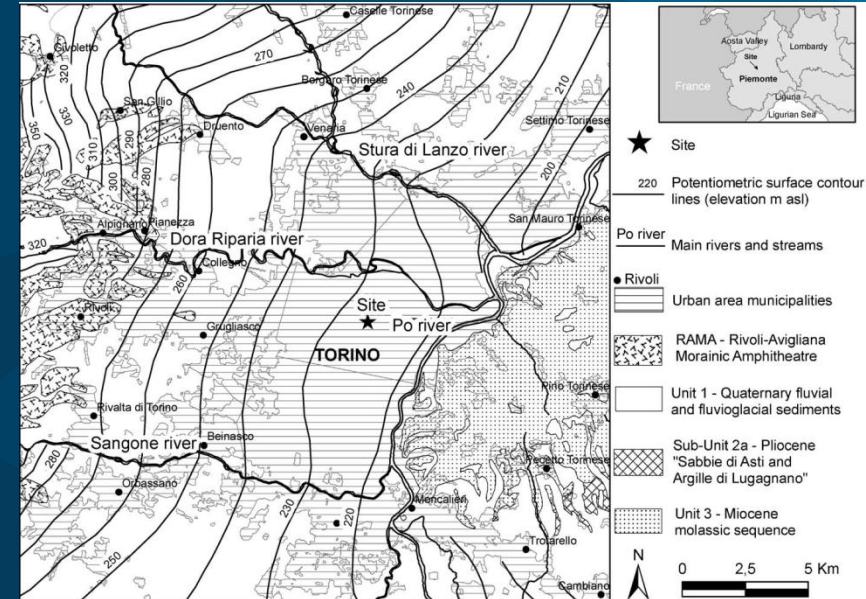
- ✓ Dimensioni del dominio di calcolo

## Identificazione e modellazione del transitorio

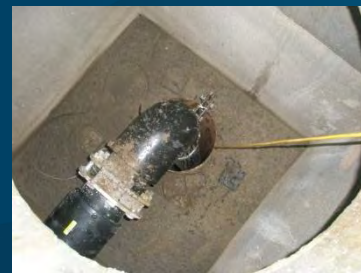
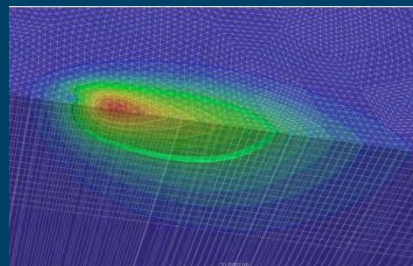
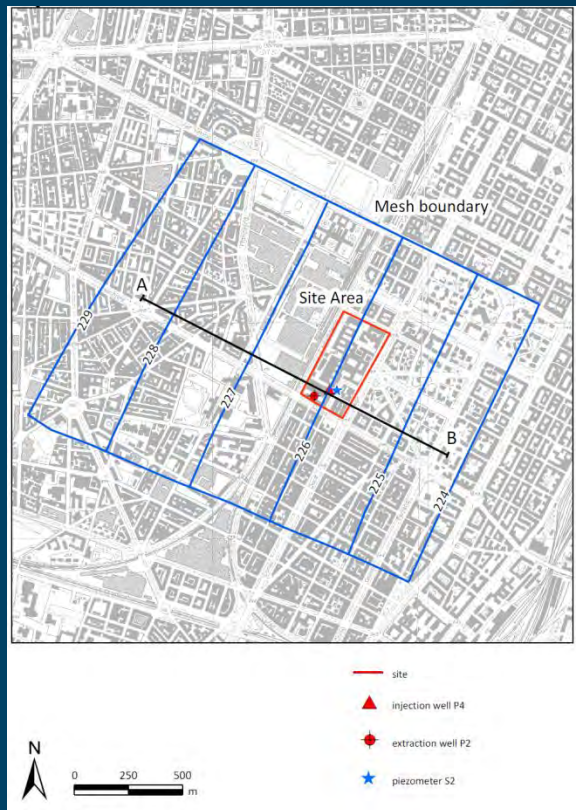
- ✓ Prelievi idrici e temperature di re-immissione seguono i fabbisogni termici dell'edificio: sempre variabili nel tempo – modellazione transitorio
- ✓ Condizioni al contorno sia idrauliche che termiche stazionarie e/o variabili nel tempo (attenzione al top boundary e interferenze con superficie)



# Esempi di applicazioni: caratterizzazione del *test site* Politecnico



# Esempi di applicazioni: caratterizzazione del *test site* Politecnico



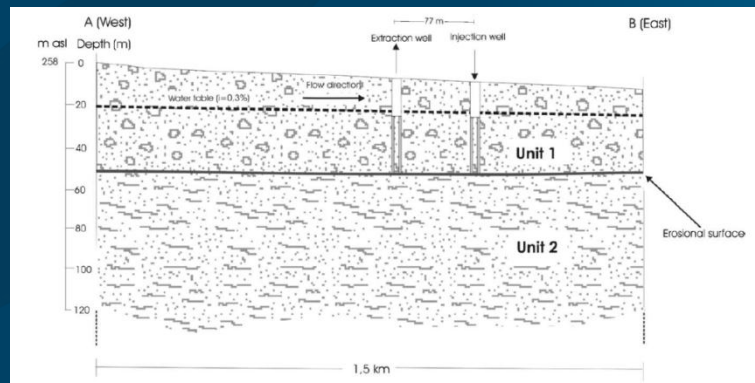
Pozzo di estrazione P2



Pozzo di immissione P4



Piezometro S2





# Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

PARAMETRI			VALORE
Kxx; Kyy	conducibilità idraulica orizzontale	(m/s)	0,00027
Kzz	conducibilità idraulica verticale	(m/s)	0,000054
S	coefficiente di immagazzinamento	-	0,106
n	porosità	-	0,2
$\rho^f c^f$	capacità termica volumetrica del fluido	$[10^6 \text{ J}/(\text{m}^3 \text{ K})]$	4,2
$\rho^s c^s$	capacità termica volumetrica del solido	$[10^6 \text{ J}/(\text{m}^3 \text{ K})]$	2,52
$\lambda^f$	conducibilità termica del fluido	$[\text{J}/(\text{msK})]$	0,65
$\lambda^s$	conducibilità termica del solido	$[\text{J}/(\text{msK})]$	3
$\alpha_L$	dispersione longitudinale	[m]	5
$\alpha_T$	dispersione trasversale	[m]	0,5

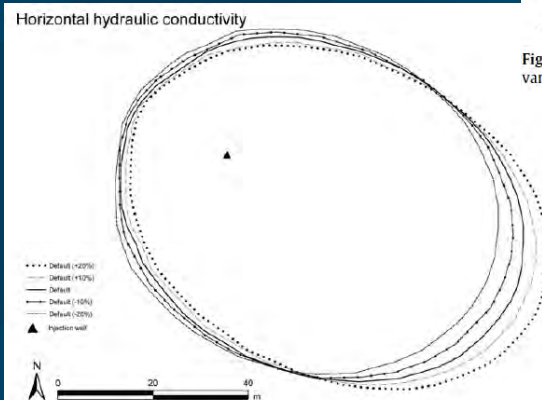


Fig. 5. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of horizontal hydraulic conductivity  $Kxx_1 = Kyy_1$ .

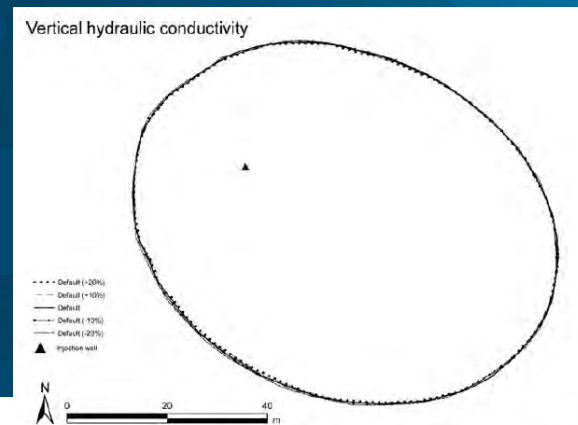


Fig. 6. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of vertical hydraulic conductivity  $Kzz_1$ .



# Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

Volum. heat capacity of solid

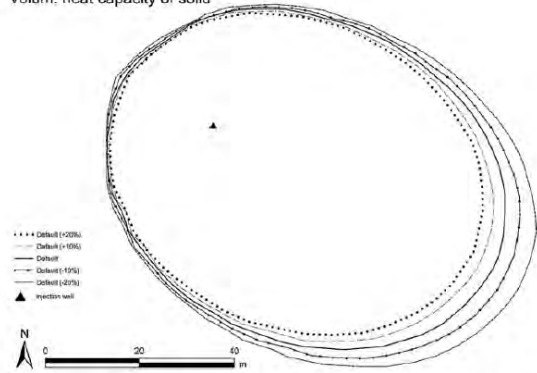


Fig. 11. Location of 16.0 °C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of solid volumetric heat capacity  $\rho^s C^s$ .

Volum. heat capacity of fluid

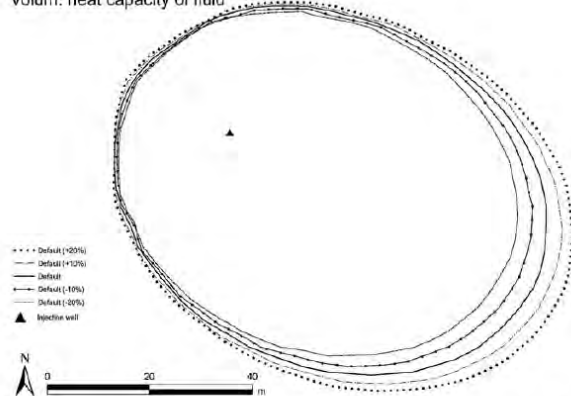


Fig. 10. Location of 16.0 °C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of fluid volumetric heat capacity  $\rho^f C^f$ .

Hydraulic gradient

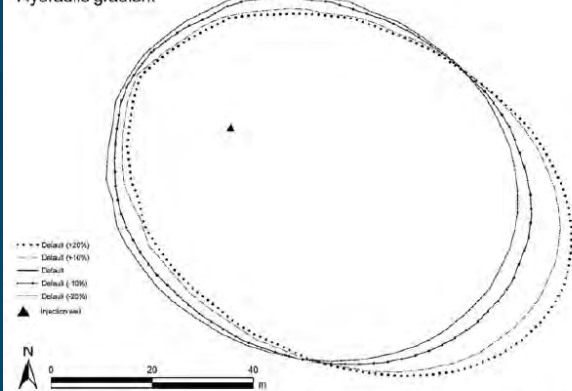


Fig. 7. Location of 16.0 °C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of hydraulic gradient  $dh/dl$ .

# Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

Storativity

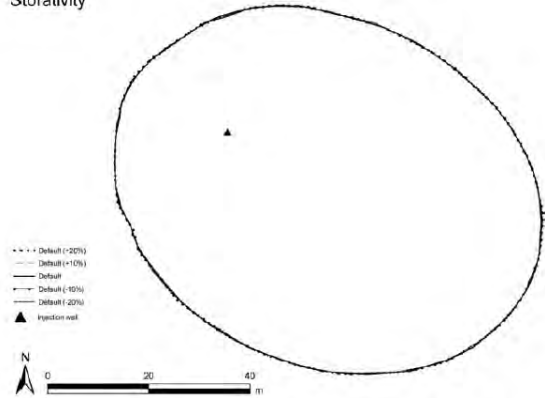


Fig. 8. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of storativity  $S_1$ .

Heat conductivity of fluid

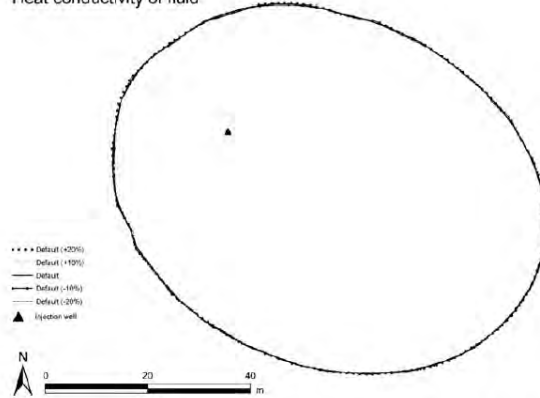


Fig. 12. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of fluid thermal conductivity  $\lambda_f$ .

Heat conductivity of solid

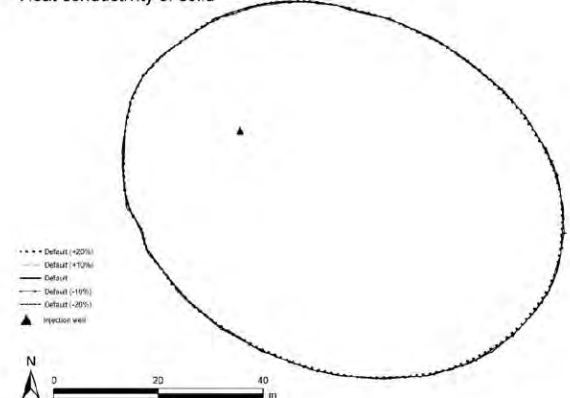


Fig. 13. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of solid thermal conductivity  $\lambda_s$ .

# Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

Porosity

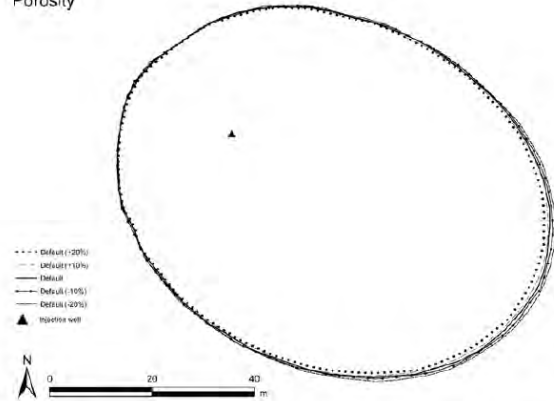


Fig. 9. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of porosity  $n_1$ .

Transverse dispersivity

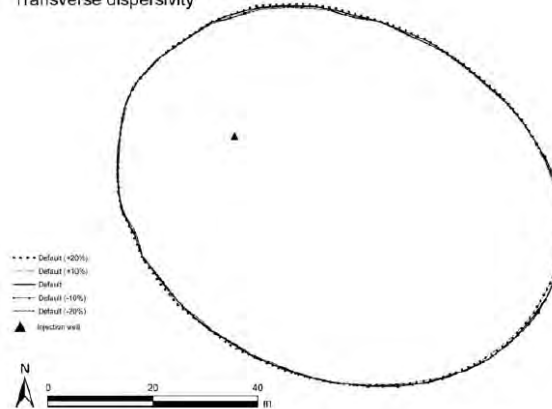


Fig. 15. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of transverse thermo-dispersivity  $\alpha_T$ .

Longitudinal dispersivity

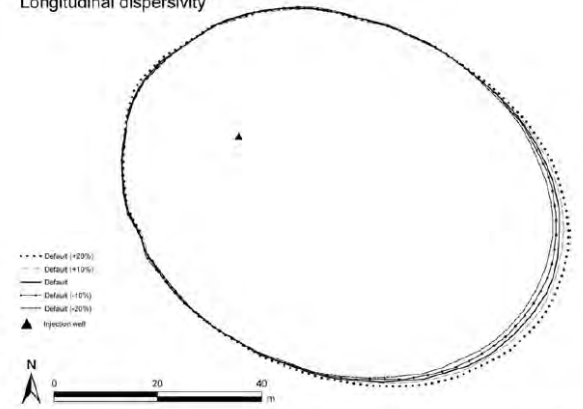
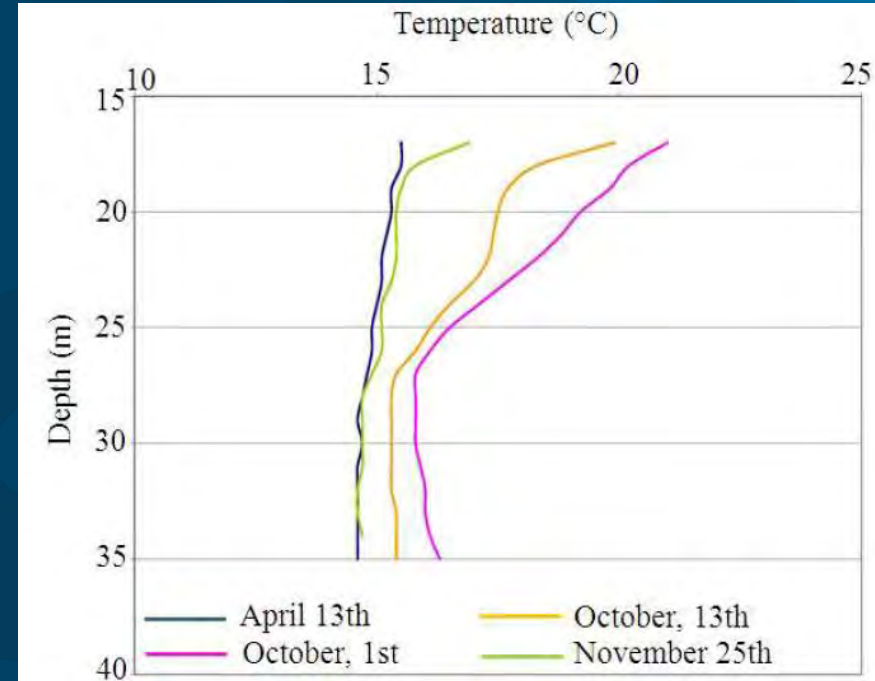


Fig. 14. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of longitudinal thermo-dispersivity  $\alpha_L$ .

## Esempi di applicazioni: stratificazione termica verticale

Osservazioni sperimentali evidenziano che lo scarico delle acque re-immesse sul top dell'acquifero produce una evidente stratificazione termica: solo la porzione superficiale dell'acquifero viene interessata dalla *plume termica* mentre il calore non si propaga in profondità

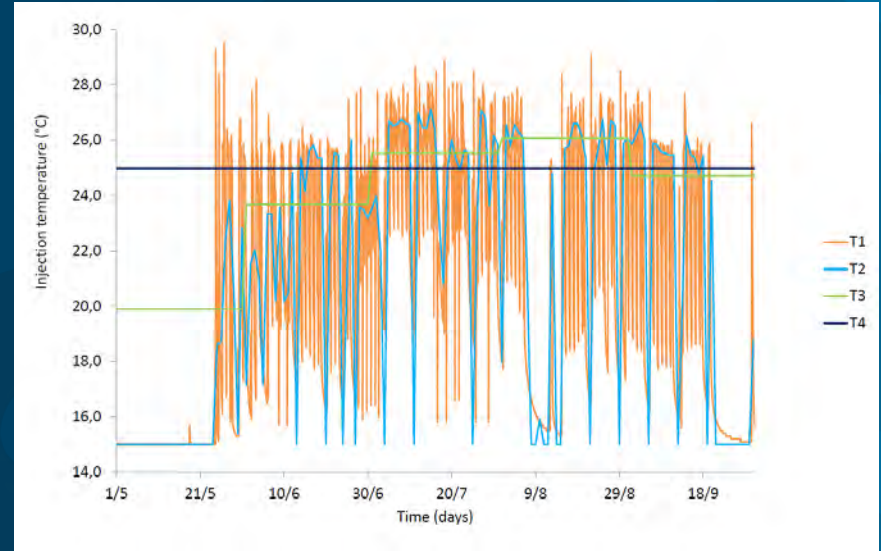
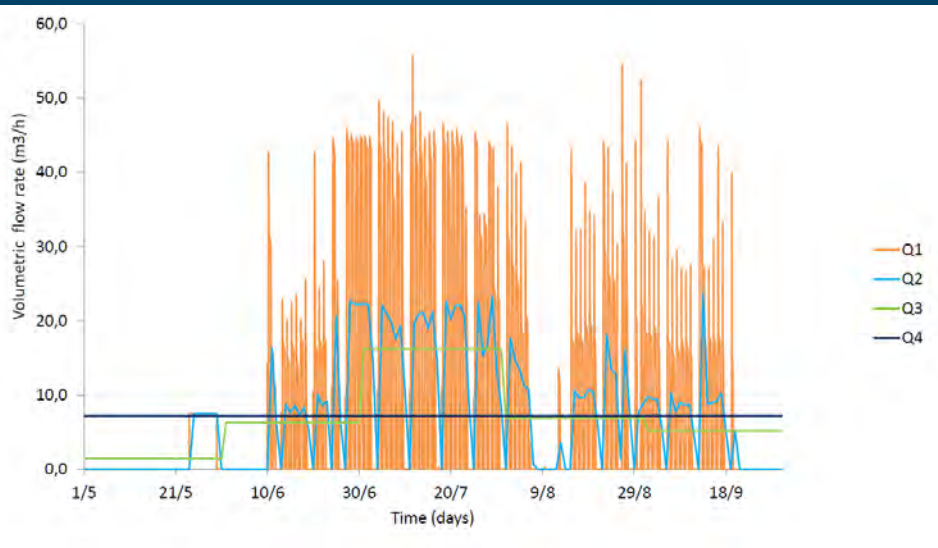
Se le variazioni di temperatura sono limitate ad alcuni gradi le variazioni di densità e viscosità del fluido con la temperatura possono essere considerate trascurabili nella modellazione numerica





# Esempi di applicazioni: Effetti delle variazioni di portata e di temperatura - la modellazione del transitorio a entalpia costante

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Delta t}{n \cdot \Delta t}$$



$$\overline{\Delta T} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot c_i \cdot \Delta T_i \cdot \Delta t}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot c_i \cdot \Delta t}$$

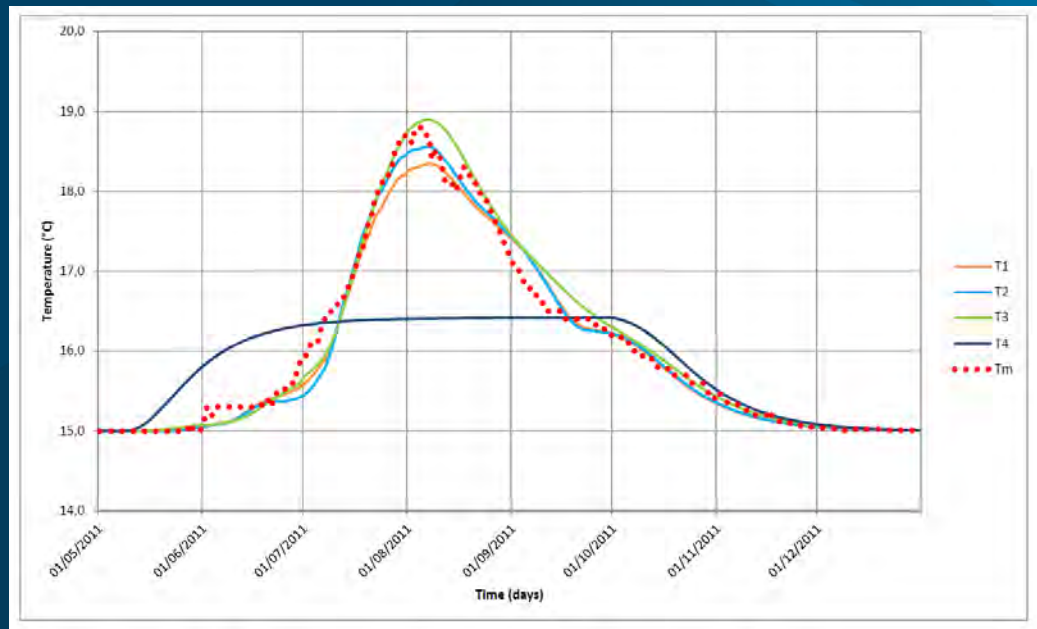
# Esempi di applicazioni: Effetti delle variazioni di portata e di temperatura - la modellazione del transitorio a entalpia costante

**T1** and **Q1** valori reali (orari)

**T2** and **Q2** media settimanali

**T3** and **Q3** medie mensili

**T4** and **Q4** medie stagionali



## Conclusioni: cosa influenza la dinamica della *plume termica*?

Gli studi sperimentali e la modellazione numerica hanno evidenziato che:

- ✓ i parametri idrodinamici che più influenzano lo sviluppo e la dinamica spazio-temporale della plume termica sono quelli connessi con la **componente advettiva del flusso di calore**.
- ✓ la caratterizzazione in sito e la modellazione numerica devono quindi prestare particolare cura nella determinazione dei parametri prettamente idrodinamici connessi alla velocità del flusso idrico (conducibilità idraulica, gradiente, porosità efficace, dispersività longitudinale e trasversale) mentre di minore importanza sono i fenomeni dispersivi di natura conduttiva
- ✓ occorre prestare particolare attenzione alla definizione corretta del modello concettuale, soprattutto in aree urbane intensamente antropizzate
- ✓ è fondamentale riprodurre nella modellazione numerica le reali condizioni transitorie di prelievo e re-immissione sia in termini di portata che di temperatura

# Thank you



**Stefano LO RUSSO**

DIATI – Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente,  
del Territorio e delle Infrastrutture  
POLITECNICO DI TORINO

E-mail: [stefano.lorusso@polito.it](mailto:stefano.lorusso@polito.it)

**Torino, 9-10 Ottobre 2013**

